

INDUCTION ELECTROMAGNETIQUE

I) Introduction : Mise en évidence qualitative ~~prédicative~~
du phénomène de l'induction (Quasants IV page 116)

Même manip faite per loic, avec deux led rouge/verte

SLIDE

Experiences 4/2 : faites en manip qualitative
Ou bouge l'aimant à spire fixe, ou bouge la
spire à aimant fixe

Experience 3 : (Exp 1 en circuit ouverte) $\Rightarrow$ pas courant
mais si on branche un voltmètre au
borne de l'induit (la spire) on mesure la
tension dont la polarité change selon vers mouv.

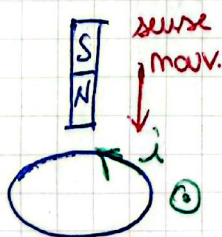
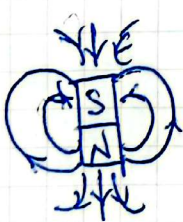
II) Loi de Lenz-Faraday $\epsilon = - \frac{d\phi_B}{dt}$ ou $\phi_B = \iint_S \vec{B} \cdot \vec{u} ds$

a) Cause de variation du flux magnétique:

Neumann : circuit fixe / B change

Lorentz : B permanent / circuit qui se déforme/déplace

b) Orientations et convention de signe:



■ Pour établir le sens du courant

① On oriente le circuit (sens i / main droite)

② Je rapproche l'aimant
 $\Rightarrow \phi_B \downarrow$ (décroît) $\Rightarrow \frac{d\phi_B}{dt} < 0$

④ Refaire calcul. avec

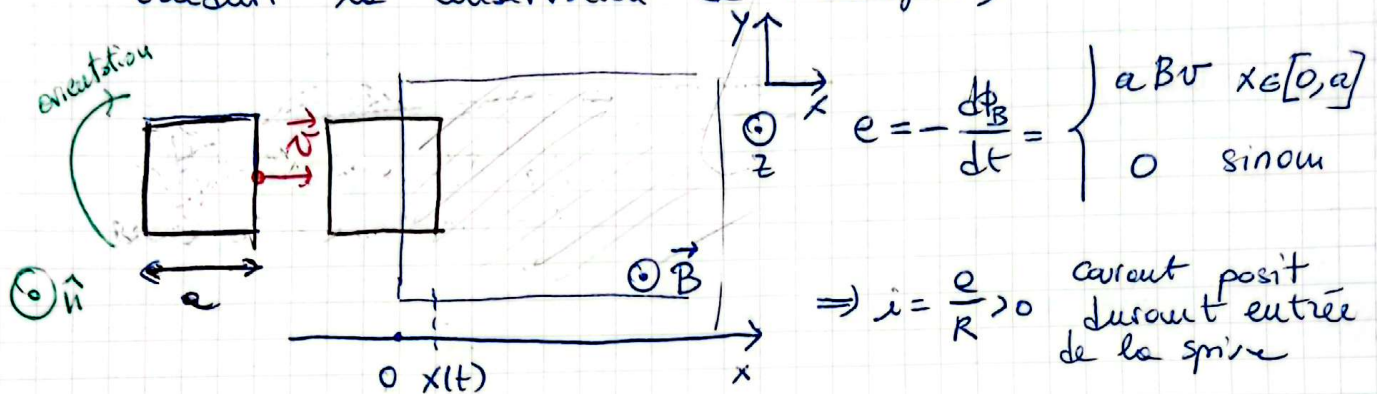
$\Rightarrow$ On trouve c'est la physique! ③ $\epsilon = - \frac{d\phi_B}{dt} > 0$ sens orient positif

II) Loi DE LENZ-FARADAY

c) Loi de Moderation de Lenz

■ Exemple (base sur l'induction de Lorentz)

(la chose que je veux montrer est que le signe traduit la conservation de l'énergie)



→ B INDUIT

Le courant i produit un champ $\vec{B}_{\text{ind}}$ qui s'oppose à $\vec{B}$ qui a généré le courant.

(on ne peut pas le montrer mais $B_{\text{ind}} \ll B$, pour de valeur de R et v raisonnable, $R = 1 \Omega$, $v \ll 10^6 \text{ m/s}$)

Donc $\Phi_{\text{propre}} \sim B_{\text{ind}} a^2 \sim \frac{\mu_0 i}{a} \times a^2 \rightarrow B_{\text{ind}} \sim \frac{\mu_0 B v}{R}$
 (Ampère) ↓ on utilise expression de i
 $\Rightarrow \left. \begin{matrix} \Phi_{\text{ind}} \ll \Phi \\ B_{\text{ind}} \ll B \end{matrix} \right\} \rightarrow v \ll \frac{R}{\mu_0} \quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ kg m A}^{-2} \text{ s}^{-2}$

→ FORCE DE LAPLACE $\vec{F}_L = i d\vec{\ell} \wedge \vec{B}$

$$\vec{F}_L = -i a \vec{e}_y \wedge B \vec{e}_z = -\frac{B^2 a^2}{R} \vec{v}$$

⇒ Moderation de phénomène d'induction ⇒
 freinage de la spire et atténuation de $\left| \frac{d\Phi_B}{dt} \right|$
 ⇒ On peut en déduire source de i

→ CONSERVATION DE L'ENERGIE:

• Travail mécanique a fourni pour $\vec{v} = cte$ $W_M = \int_{x=0}^{x=a} -\vec{F}_L d\vec{e} = \frac{Ba^3v}{R}$

• Energie électrique dissipée (Effet joule) $W' = \int_{t=0}^{t=a/v} Ri^2 dt = R \left(\frac{Bav}{R} \right)^2 \left(\frac{a}{v} \right) = \frac{Ba^3v}{R}$

III)

INDUCTION DE NEUMANN

MARCHETTI →

ARQS magnétique + Eq. Maxwell.

→ $\vec{E} = -\text{grad } V - \left(\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \right) \rightarrow \vec{E}_m$

$\vec{E}_m$ non conservé et électromoteur

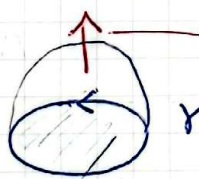
• Flux magnétique variable à cause de $\vec{B}(t, M)$ variable

• $\Rightarrow i(t)$ à cause d'un champ $\boxed{\vec{E}}$ dont une composante a caractère électromoteur

$$e = \oint_{\gamma} \vec{E} d\vec{e} = - \frac{d}{dt} \iint_S \vec{B} \cdot \vec{u} dS$$

γ : contour de mon circuit électrique

S : surface s'appuyant sur γ (pas S fermée!!)



ou l'obtient avec la main droite près orientation de γ

⚠ les orientations ne changent pas la physique mais il faut rester cohérente

(On peut choisir une surface quelconque car $\text{div } \vec{B} = 0$, mais pas faire la remarque)

D'après Stokes-Ampère on trouve $\text{rot } \vec{E} = \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ (PAS DIRE ?)

Une fois qu'on a $\vec{E}_m = - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$ en sachant $\vec{A} = \text{rot } \vec{B}$

on retrouve facilement la loi de Faraday-Lenz

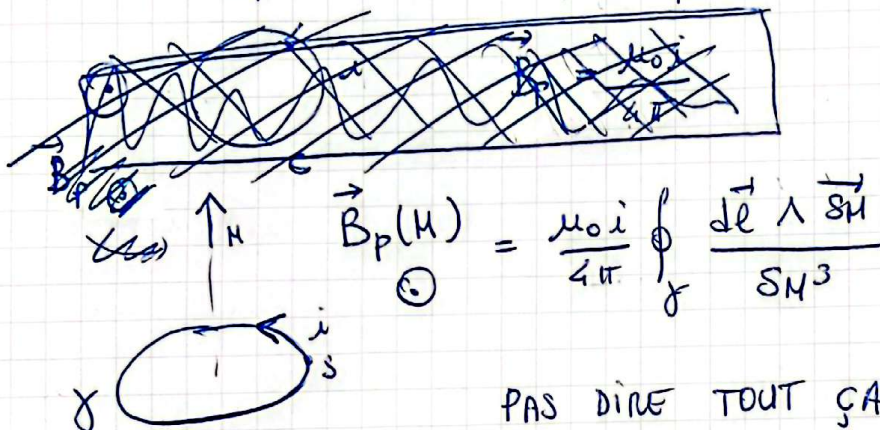
IV) INDUCTANCE PROPRE / INDUCTANCE MUTUELLE

a) INDUCTANCE PROPRE

• On sait qu'un ~~courant~~ courant genere un champ.

(pour un circuit filiforme on le calcule avec Biot et Savart), on l'appelle CHAMP PROPRE

• Ce champ induit un flux propre dans le circuit



• On calcule $B_p(M)$ avec Biot-Savart et on sait que:

$B_p(M) \propto i$ (L depend que de la geometrie du circuit, en general difficile à calculer)

$$\Rightarrow \phi_p = \int_{\Sigma} \vec{B} \cdot d\vec{S} = L i(t)$$

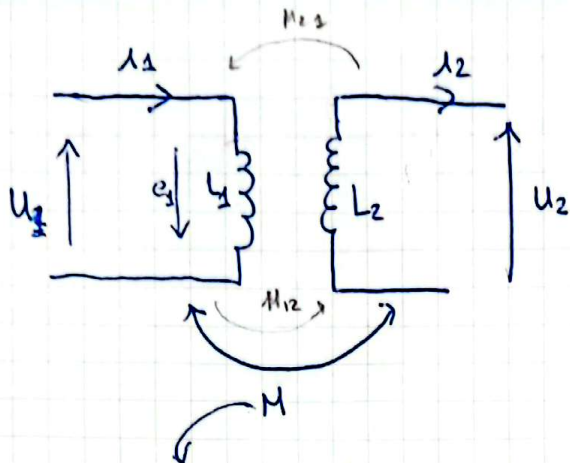
Exemple

Solenoïde $\Rightarrow B_p$

$$B_p = \mu_0 \frac{N}{l} i, \quad \phi_p = \left(\frac{\mu_0 N^2}{l} S \right) i$$

b) INDUCTANCE MUTUELLE

• Je rapproche un deuxième circuit à mon circuit 1 parcouru par courant $i_1(t)$



Où peut montrer $M_{12} = M_{21} = M$

- $\phi_{1 \rightarrow 2} = M_{12} i_1 \Rightarrow i_1 \text{ variable} \Rightarrow i_2$
- i_2 tel de générer un champ qui s'oppose aux variations de $\phi_{1 \rightarrow 2}$
- De même $i_2(t) \Rightarrow \phi_{2 \rightarrow 1} = M_{21} i_2$

$$\begin{aligned} \phi_{12} &= M_{12} i_1 = \iint_{S_2} \vec{B}_1 \cdot d\vec{S}_2 = \oint_{C_2} \vec{A}_1 \cdot d\vec{\ell}_2 \quad \text{mais } \vec{A}_1(M) = \oint_{C_1} \mu_0 i_1 \frac{d\vec{\ell}_1}{r_{12}} \\ \Rightarrow \phi_{12} &= i_1 \mu_0 \oint_{C_2} \oint_{C_1} \frac{d\vec{\ell}_1 \cdot d\vec{\ell}_2}{r_{12}} \quad , \quad \text{pour si je calcule } \phi_{21} \\ \phi_{21} &= i_2 \mu_0 \oint_{C_1} \oint_{C_2} \frac{d\vec{\ell}_2 \cdot d\vec{\ell}_1}{r_{21}} \end{aligned}$$

Pour le flux je trouve :

$$\left\{ \begin{array}{l} \phi_1 = \phi_{11} + \phi_{21} = L_1 i_1 + M i_2 \\ \phi_2 = \phi_{22} + \phi_{12} = L_2 i_2 + M i_1 \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} \\ u_2 = L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt} \end{array} \right.$$

Puis d'énergie ^{magnétique} sur notre système couplé :

$$P_m = u_1 i_1 + u_2 i_2 = L_1 i_1 \frac{di_1}{dt} + L_2 i_2 \frac{di_2}{dt} + M \left(i_1 \frac{di_2}{dt} + i_2 \frac{di_1}{dt} \right)$$

$$\cancel{P_m} \quad P_m = \frac{dE_m}{dt} \Rightarrow E_m = \frac{1}{2} L_1 i_1^2 + \frac{1}{2} L_2 i_2^2 + \underbrace{M i_1 i_2}_{\text{terme de couplage}}$$

$$E_m \geq 0 \Rightarrow M^2 \leq L_1 L_2 \quad |M| = \sqrt{L_1 L_2}$$

À partir de E_m trouver équation couplée parfait d'une parabole et imposer $\Delta < 0$ ou > 0

SLIDE
 c) Transformateur parfait $M = \sqrt{L_1 L_2}$ est sans pertes
 (Calcul à ne pas faire → résultat sur suites)

$$\begin{cases} U_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} \\ U_2 = L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt} \end{cases} \xrightarrow[\text{divise par } \sqrt{L_1 L_2}]{\text{divise par } L_1} \Rightarrow \begin{cases} \frac{U_1}{L_1} = \frac{di_1}{dt} + \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} \frac{di_2}{dt} \\ \frac{U_2}{\sqrt{L_1 L_2}} = n \end{cases}$$

$$\Rightarrow \frac{U_1}{U_2} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} = \frac{N_2}{N_1} = n \quad \text{pour des bobines de même géométrie}$$

V) EXPERIENCE Transformateur :

IV) Courant Foucault.

- Conducteur cylindrique R = rayon, h = hauteur, σ = conduct.
- ~~Champ~~ Champ $\vec{B}_e = B_0 \cos(\omega t) \vec{e}_z$
- $\vec{E}_i = E_i(r) \vec{e}_\phi$
- ODG : $|\vec{E}_i R| = \omega R^2 B_0 \stackrel{\text{Neumann}}{\Rightarrow} E_i$

$$(\text{Volumique}) J_F = \sigma E_i \cong \omega R B_0 \sigma$$

$$P_v = \sigma \omega^2 B_0^2 R^2 = \oint \vec{E}_i$$

$$\Rightarrow P = V(\omega^2 B_0^2 R^2) \rightarrow \text{Intensité Foucault}$$